引用格式:顾佰和, 于东晖, 王琛, 等. 进一步深化碳达峰、碳中和战略转型路径的若干思考. 中国科学院院刊, 2024, 39(4): 726-736, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230505003.
Gu B H, Yu D H, Wang C, et al. Insights on further deepening carbon peaking and carbon neutrality strategy and pathways. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(4): 726-736, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230505003. (in Chinese)

进一步深化碳达峰、碳中和战略转型路径的若干思考

顾佰和[1,2]　于东晖[1,2]　王 琛[3]　王 毅[1,2*]

1 中国科学院科技战略咨询研究院　北京　100190
2 中国科学院大学　公共政策与管理学院　北京　100049
3 中国科学院大学　中丹学院　北京　100049

摘要　碳达峰、碳中和目标的实现将带来广泛而深刻的经济社会系统性变革。“双碳”转型路径是一系列目标、技术、资金、政策等综合驱动的系统行动路线图。随着全社会对“双碳”工作认识的不断深化，我国的“双碳”工作面临全面深化落实的系统推进挑战。文章总结了“双碳”目标引领下的低碳转型新成效与双碳“1+*N*”政策体系，对实现双碳目标的转型需求和面临的挑战进行了分析，并从经济体系、能源体系、国土空间格局、建筑和交通、消费模式、技术创新、金融体系、贸易与供应链、治理体系及国际合作等方面提出了系统推进双碳目标深化落实的若干建议。

关键词　碳达峰，碳中和，低碳转型，生态文明，绿色发展

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20230505003
CSTR　32128.14.CASbulletin.20230505003

应对气候变化的必要性与紧迫性越来越成为全球共识。截至2023年10月，已有151个国家已经或准备提出净零排放或碳中和目标，包括中国、美国、日本、德国、加拿大、英国等世界主要碳排放国①。然而，当前国际地缘政治经济形势面临深度不确定性，对全球气候治理进程带来一定的冲击和挑战。

*通信作者
资助项目：国家自然科学基金专项项目（72140007），中国科学院青年创新促进会（2022151），国家社会科学基金重点项目（22AZD098）
修改稿收到日期：2024年4月4日
① Net Zero Tracker. Global Net Zero Coverage. [2023-10-14]. https://zerotracker.net.

自2012年党的十八大将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局以来，我国始终践行生态优先、绿色发展的生态文明建设与可持续发展之路，高度重视气候变化问题，把积极应对气候变化作为国家经济社会发展的重大战略，将绿色低碳循环发展作为生态文明建设的重要内容和实现途径[1]。中国国家主席习近平在第75届联合国大会一般性辩论上郑重宣布，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，力争2030年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”，生态文明建设也逐渐进入以“双碳”目标为引领的新时代。从世界范围看，多数国家将碳中和目标定在21世纪中叶，从碳达峰到碳中和平均有50年的过渡期，而我国的时间只有30年左右，任务更加艰巨[2]。2023年，党的二十大报告强调“积极稳妥推进碳达峰碳中和”，“双碳”目标愿景成为未来一个时期实现人与自然和谐共生现代化的重要指引。

1 “双碳”目标指引下的低碳转型新进展

1.1 我国低碳转型的进展与成效

*在“双碳”目标指引下，我国低碳转型成效显著。*2022年，我国单位国内生产总值（GDP）二氧化碳排放比2005年累计下降51.2%，单位GDP能耗相比2012年下降26.5%，非化石能源消费比重达到17.5%②。2021年，我国森林覆盖率已至24.02%，森林蓄积量相比2005年增加57.9亿立方米③。*能源绿色低碳转型取得举世瞩目的成绩。*我国已成为世界第一大能源消费国，当前能源消费仍处于上升阶段，与此同时，“富煤、贫油、少气”的能源禀赋使得短期内以煤为主的能源结构难以发生根本性转变，这提升了我国能源低碳转型的难度。但近年来我国大力发展非化石能源，能源绿色低碳转型步伐不断加速。我国一次能源消费总量中的煤炭消费比例由2005年的72.4%下降到2022年的56.2%，非化石能源占比由2005年的7.4%上升到2022年的17.5%。2022年，我国可再生能源发电量达到了2.7万亿千瓦时，相当于欧盟2021年的全年用电量④。可再生能源装机量达到了12.13亿千瓦，稳居世界第1位。从能源消费强度上看，2012—2021年，我国单位GDP能耗年均降幅达到3.3%，相当于节约和少用能源约14.0亿吨标准煤⑤。

*工业、交通、建筑等领域的低碳转型也在有序推进。在工业领域，*产业结构调整、工业全面绿色低碳转型取得新成就。2020年，我国单位工业增加值二氧化碳排放量比2015年下降约22%。规模以上高技术制造业增加值占规模以上工业增加值比重达15.5%。绿色低碳产业蓬勃发展，我国的新能源产业发展十分迅速，技术水平和制造规模均居世界前列。其中，风电、光伏等绿色低碳技术产品生产规模世界领先，2022年，我国光伏供应链的各环节，包括多晶硅、硅片、电池片和组件等的全球产量占

② 单位GDP二氧化碳排放和能耗下降数据，系作者根据《中国应对气候变化的政策与行动2022年度报告》《中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报》《党的十八大以来经济社会发展成就系列报告》中的数据计算得到。
非化石能源消费比重数据来自：新华社. 2022年我国万元GDP能耗比上年下降0.1%. (2023-02-28). https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/28/content_5743710.htm.

③ 数据来自国家林业和草原局《2021中国林草资源及生态状况》、《清查结果表明：我国森林蓄积量上已达到“双增”目标要求》(2014-02-25). https://www.gov.cn/wszb/zhibo617/content_2620967.htm。其中森林蓄积量增加数据系作者根据2021年和2005年数据计算得到.

④ 国家能源局. 国家能源局2023年一季度新闻发布会. (2023-02-14). https://www.nea.gov.cn/2023-02/13/c_1310697149.htm.

⑤ 国家统计局. 10年来我国单位GDP能耗年均下降3.3%. (2022-10-08). https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/08/content_5716737.htm.

比均超过80%[⑥]。在交通领域，基础设施和综合运输结构绿色低碳化明显。我国2022年新能源汽车销量达到688.7万辆，超过欧盟与美国销量之和，保有量超1 310万辆，约为全球的一半。在建筑领域，逐渐完善和提高建筑节能和可再生能源利用标准，绿色节能建筑呈跨越式增长。截至2022年底，节能建筑占城镇民用建筑面积比例超过64%，城镇新建绿色建筑占当年新建建筑比例高达90%左右，累计建成绿色建筑面积超过100亿平方米[⑦]。在循环经济领域，2021年我国的大宗固废资源化利用率、秸秆综合利用率、废纸利用率分别达到56.8%、88.1%和54.1%[⑧]。此外，在农林业及生态碳汇领域，我国积极推进应对气候变化与生态环境保护的协同工作，巩固提升生态系统碳汇能力。2021年，林草植被年固碳量3.49亿吨，年吸收二氧化碳当量12.8亿吨[⑨]。

1.2 双碳“1+*N*”政策体系

2021年10月，我国先后发布《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（以下简称《意见》）和《2030年前碳达峰行动方案》（以下简称《行动方案》），作为“双碳”“1+*N*”政策体系的总体纲领性文件。随后，各部门相继推出一系列政策文件，旨在全面落实“双碳”目标任务。当前我国双碳“1+*N*”政策体系已经基本建成。

双碳“1+*N*”政策体系的“1”由《意见》和《行动方案》组成，“*N*”由重点领域、重点行业实施方案及相关政策保障方案组成[3]（图1）。双碳“1+*N*”政策体系将为中国的“双碳”工作提供全方位、多层次的指导。① 政策设计覆盖碳排放相关的所有关键领域和重点部门，包括能源、工业、城乡建设、交通运输、减污降碳等重点领域，以及钢铁、有色金属、石化、建材等重点行业的行动方案。② 注重通过科技创新、财政支持、价格改革、科技支撑、人才培养等支持措施为“双碳”工作提供切实保障。③ 体现了全社会广泛参与，是国家治理体系和治理能力现代化的生动体现，参与主体涉及各部委、地方政府、行业、园区、企业及个人等。④“1+*N*”政策体系还力图促进更广泛的合作，包括“一带一路”能源绿色发展，以及各行业、各部门中的国际合作政策设计。表1总结了“1+*N*”政策体系中的部分关键量化目标。“1+*N*”政策体系为“双碳”工作提供了总体框架和工作重点，但与此同时，“双碳”工作的长期性和艰巨性给我们提出了新的要求，其路径和政策需要在国内外形势变化中保持韧性，并不断作出动态调整[3]。

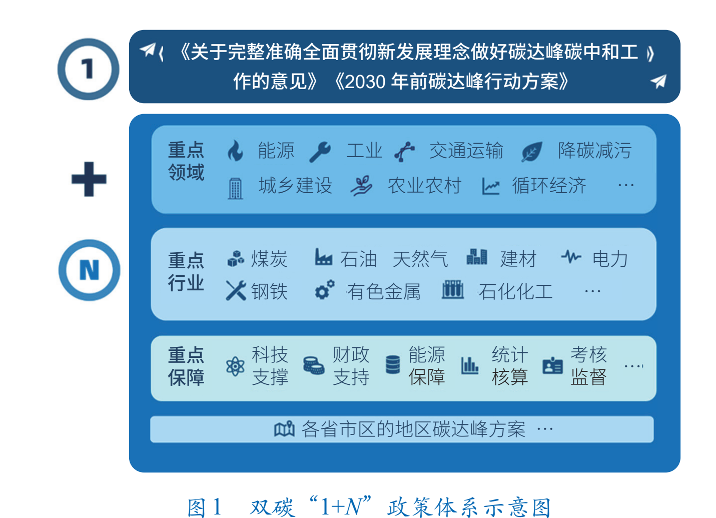


图1 双碳“1+*N*”政策体系示意图

Figure1 Carbon peaking and carbon neutrality “1+*N*” policy system diagram

⑥ 中国光伏行业协会. 2022—2023年中国光伏产业年度报告. 北京, 2023.

⑦ 丁怡婷. 全国累计建成绿色建筑面积超百亿平方米. (2023-06-26). http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-06/26/nw.D110000renmrb_20230626_3-10.htm.

⑧ 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委新闻发布会 介绍生态文明建设有关工作情况. (2022-09-21). https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/wszb/stwmjsyggzqk/?code=&state=123.

⑨ 生态环境部. 2022中国生态环境状况公报. (2023-06-25). https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/.

表 1　双碳“1+*N*”政策体系中的部分关键量化目标

Table 1　Key quantitative targets in “1+*N*” policy framework for carbon peaking and carbon neutrality

	能源		工业		交通		建筑		农林业		循环经济	
2025年目标	单位GDP CO_2排放相比2020年下降18%，单位GDP 能耗相比2020年下降13.5%，非化石能源消费比重达到20%											
	指标	目标	指标	目标	指标	目标	指标	目标	指标	目标	指标	目标
	非化石能源发电量比重	39%左右	单位工业增加值CO_2排放相比2020年下降	18%	新能源汽车销量占比	20%左右	新增建筑太阳能光伏（千瓦）	＞5 000万	森林覆盖率	24.1%	大宗固废综合利用率	60%
	风电、太阳能发电量相比2020年增加	1倍	规模以上单位工业增加值能耗相比2020年下降	13.50%	城市公交/出租车新能源汽车占比	72%/35%	建筑能耗中电力消费比例	＞55%	森林蓄积量（立方米）	190亿	废钢利用（吨）	3.2亿
	终端用能电能占比	30%左右	工业终端电能消费比重	30%左右	集装箱铁水联运量年均增长率	＞15%	城镇新建居住/公共建筑能效相比2020年提升	30%/20%	自然保护地面积占陆域国土面积比例	＞18%	资源循环利用产业产值（元）	5万亿
2030年目标	2030年前碳达峰，单位国内生产总值二氧化碳排放相比2005年下降65%以上，非化石能源消费比重达到25%左右											
	能源		工业		交通		建筑		农林业		循环经济	
	指标	目标	指标	目标	指标	目标	指标	目标	指标	目标	指标	目标
	非化石能源消费比重	25%左右	短流程炼钢占比	＞20%	新能源、清洁动力交通工具当年新增占比	40%左右	建筑用电占建筑能耗比例	＞65%	森林覆盖率	25%左右	大宗固废年利用量（吨）	45亿左右
	风电、太阳能装机（千瓦）	＞12亿	电解铝使用可再生能源比例	＞30%	乘用车/商用车新车CO_2排放强度相比2020年下降	＞25%/＞20%	新建公共建筑全面电气化建筑比例	20%	森林蓄积量（立方米）	190亿	城市生活/建筑垃圾资源化利用率	65%/55%
2060年目标	2060年前碳中和，非化石能源消费比重达到80%以上											

数据来源：作者据已出台的“1+*N*”政策体系内主要政策整理，包括《意见》《行动方案》，以及各领域指导碳达峰碳中和的纲领性政策文件

Data sources: The authors extracted relevant data from the dual-carbon “1+*N*” policy framework, including the “Opinions,” “Action Plans,” and policy documents guiding carbon peaking and carbon neutrality across various sectors

2 “双碳”目标下的转型需求与挑战分析

2.1 “双碳”目标引领下的转型需求

实现“双碳”目标，需要思维方式、发展模式的深刻与系统性变革。整个转型战略的实施需要目标导向下的顶层设计、系统规划、分步骤分阶段实施，是一个理论和实践的互动过程，需要综合处理好不同目标与主体间的协同，通过“干中学”不断解决发展中的问题和挑战。这不仅需要长期的政策信号和韧性管理，采取动态调整的机制，更需要在实践中学习，不断更新认知体系和行动方案，降低转型风险和成本。

实现“双碳”目标，需要科学理解和落实“双碳”目标，需要统筹气候、安全与转型发展。“双碳”目标引领我国发展方式和经济结构转型，并将全面推动绿色创新。实现“双碳”目标，要立足当前我国能源消费以煤为主、制造业庞大、经济社会仍处于快速发展、经济增长与能源需求增长仍高度相关、碳达峰到碳中和时间短的基本国情，兼顾全球传统安全与非传统安全风险交织的大背景，统筹气候、安全与转型发展。

实现“双碳”目标，全面绿色转型是核心，降低二氧化碳及其他温室气体排放是根本，碳汇和负排放措施是补充。实现碳中和要求大幅改变我国的能源消费结构，而能源消费结构转变的核心实际是经济社会的全面绿色转型，包括能源安全理念的转变、产业结构的优化升级、绿色低碳技术的迭代创新、治理体系和能力的现代化。未来，这场气候和发展竞争的关键是“谁的绿色转型更好、更快”，加速全面绿色转型、增强低碳竞争力将帮助我国取得新的制高点和新综合优势。同时，适应气候变化的地位在不断上升，提升未来低碳竞争力是制高点。

2.2 “双碳”目标进一步深化面临的问题与挑战

当前国际政治、经济面临不稳定的形势，构建绿色贸易、产业、技术壁垒的声音和行动不断增强。新冠疫情、俄乌冲突等多重危机对全球经济社会产生全方位影响，国际地缘政治和应对气候变化战略格局也在发生深刻变革。部分发达经济体为谋取竞争优势、抢占绿色产业和技术制高点，在技术创新、产品贸易、标准等领域高树保护壁垒，气候合作中所伴随的多领域、多方面的气候竞争也需要逐步引起各方的关注与重视。

我国实现碳达峰与碳中和期限短，减排路径仍具不确定性。我国当前仍处于经济的中高速增长阶段，在此背景下提出碳排放于2030年前达峰，随后加速与经济增长脱钩，在短短30年内实现碳中和，这要求实现2030年后平均每年相比上一年减排8%—10%[5]。如遇到内外部环境因素导致碳达峰平台期波动和延长，则要求一条更加剧烈的结构性变革之路。作为一个发展中大国，这对我国经济结构转型、技术创新、资金投入等提出了更高要求。

我国能源低碳转型的短中期路线图还需进一步明晰。当前我国已经确立了能源低碳转型的长期目标和方向，确立了到2060年非化石能源消费占比达到80%以上的目标，推动可再生能源逐步取代化石能源的主体地位。但立足我国以煤为主的能源资源禀赋，与长期依赖煤的能源消费结构，能源低碳转型面临诸多挑战。当前我国煤电机组普遍年轻，提前退役面临较高资产搁浅风险和公正转型问题，煤炭与工业产业之间的高度关联加大了减煤的难度，高比例可再生能源电力系统的建设面临灵活性不足、市场机制不健全、智能电网技术未完善等一系列挑战，如何保证低碳能源的可靠替代与化石能源逐步退出之间的协调一致，是我国近中期能源低碳转型面临的关键问题。

我国的基础研发能力仍相对较弱，关键低碳、零碳、负碳技术储备不足。我国原创性科技成果较少，对颠覆性系统性低碳、零碳、负碳技术的关注不足，诸多体制机制对科技成果转化造成滞碍，创新要素尚未实现高效配置。技术创新是实现深度碳减排的核心

和关键所在[4]，未来随着国际经济利益博弈与贸易保护的深化，技术的转移与合作将面临更大阻力。

保障“双碳”目标实现的关键性制度和能力还有待完善。应对气候变化和“双碳”相关的法律体系尚未建立，碳排放总量和强度双控制度尚未落地。地方政府落实“双碳”目标任务的能力亟待提升，“口号式减碳”现象并不鲜见。统一规范的温室气体排放统计核算体系还未建成，市场型政策机制尚未有效发挥资源配置的作用，气候友好型投融资体系亟须补位。

3 系统推进“双碳”目标深化落实的若干思考

“双碳”转型路径是一系列目标、技术、资金、政策等综合驱动的系统行动路线图。把握好机遇和挑战“双刃剑”，处理好各类基本关系，解决好短期内成本高、难度大的问题，以及中长期的系统性挑战，对实现“双碳”目标至关重要[2]。加速经济社会的全面绿色低碳转型，需要全局的统筹谋划和顶层设计，探索符合我国实际的“双碳”发展路径与配套协同的政策制度。

3.1 转变生产方式，建立绿色低碳循环发展的经济体系

面向未来，发展仍是解决我国所有问题的关键，发展方式转型的必要性和紧迫性更加凸显。

加快产业结构的调整优化，持续推进高耗能工业节能减碳。深度脱碳将催生新产业革命，新的竞争优势将围绕以去碳化为核心的产业升级而形成。加速产业转型升级，提高绿色低碳制造业的比重。考虑新能源成本的降低、工艺流程再造技术的突破及碳定价机制的逐步完善，渐进完成对高载能行业的绿色低碳改造、结构升级和重新布局，如科学制定钢铁产业的脱碳路线图、石化产业的去燃料化路径等。

发展碳减排导向的循环经济。通过绿色设计、产品全生命周期及供应链的绿色低碳化，发挥降碳减污扩绿增长的协同效应。通过再生资源目标和激励机制，进一步完善联系企业、政府、消费者的生产者责任延伸制度。重视转型过程中产生的新兴产业废弃物等问题。例如，退役新能源设施、电动车电池的处理处置，创新二氧化碳等温室气体的资源化利用技术与模式。做好基础设施、产品等的全生命周期评估。深化“无废城市”的试点工作，扩展到区域城市群。

3.2 立足能源革命，转变能源结构，建立新型能源体系

“清洁低碳、安全高效”新型能源体系的构建是传统化石能源与清洁能源此消彼长、互补融合的过程，既包括化石能源的高效利用，也包括新能源的大规模开发与利用，还涉及高能耗工业转型升级等，是一项动态的复杂系统工程。因此，要结合碳达峰、碳中和时间和我国能源资源禀赋等条件，坚持先立后破，在确保能源安全的前提下推进能源体系绿色低碳转型。

推进以新能源为主体的新型电力系统建设，发展大规模高比例可再生能源及配套政策。深化电力系统改革，探索适应新一代能源和电力系统的能源市场和价格机制。加快清洁能源基地建设，积极稳妥推进分布式能源、智能电网、新型储能、多能互补等清洁电力技术部署。延伸、完善应用场景，支持“可再生能源+扶贫”“可再生能源+农业”“可再生能源+生态修复”等项目发展，为可再生能源的部署落地提供系统支持。同时，有序发展绿氢制造及相关产业，合理布局储能设施，安全有序发展核电，探索核能的多元化利用。

逐步推进化石能源的结构性调整和高效利用。管控化石能源消费增长，大力实施煤电机组“三改联动”，综合比较不同煤电转型路径的安全性、经济性和可持续性，制定更优的系统性转型方案。注重提质增效，节能和提高能效仍然是当前能源战略和碳减排的优先选择[6]。以终端电气化为导向，降低油气作为

燃料的使用比重。同时，注重不同能源组合、路径的综合评估，基于科学探索实现路径。

3.3 形成有助于实现碳中和的国土空间格局

*建立以国家公园为主体的自然保护地体系，综合考虑区域空间结构与能源结构、产业结构的调整优化，实现人与自然和谐共生。*统筹考虑区域差异，结合能源资源禀赋、新能源开发成本、产业链配套、物流条件，兼顾地方产业转型战略，构建与碳中和需求相适应的产业空间布局，构建区域低碳转型伙伴关系。做好城镇空间、农业空间、生态空间的国土空间布局统筹，推动用途管制与双碳目标的融合，制定有利于大规模高比例发展可再生能源的混合用地政策。科学评估基于土地利用的气候缓解策略，包括生物质能源、植树造林等对粮食生产和安全的影响。提供基于自然的解决方案，发展自然受益型经济，降低成本和提高可持续性，进一步完善生态系统综合管理。鼓励包括社会公益保护地在内的各类保护地发展和利益相关方参与。系统提高生态系统的碳汇和适应能力，完善自然碳汇的统计核算体系[7]。

3.4 构建绿色低碳建筑和交通运输体系

*构建安全便捷、绿色低碳、智能共享的综合交通运输体系。*规划公共交通导向发展的绿色交通体系，加快城际轨道交通建设，推动共享交通、城市慢行系统发展。大力推进交通工具的电气化和智能化，注重电动车发展与基础设施灵活性的增强。探索不同车辆技术及商业模式的创新，包括充电换电、加氢换氢等。科学制定燃油车退出时间表。同时，要大力发展多式联运，提高大宗货物和中长途货运的铁路、水路承运比重。重视城市绿色韧性的道路基础设施建设，提高交通系统的适应和防灾减灾能力。

*重塑集约、智能、低碳、韧性、可持续的城乡基础设施建设。*发展零碳建筑、可再生能源一体化建筑，推动已有建筑的节能技术改造。以安居工程和旧城改造为支点，示范和推广光储直柔、建筑光伏一体化等新型零碳建筑技术。逐步推动城镇建筑和农房的电气化、清洁化升级，探索装配式建筑等绿色、安全、高效的新型施工建设方式[8]。

3.5 塑造可持续消费模式

*我国正处在从生产型社会向消费型社会转型期，需要塑造符合资源禀赋和文化特征的可持续消费模式。*引导终端用能向电气化、清洁化、智能化、市场化转型，提倡低碳出行模式。持续完善垃圾分类、收集及处理一体化，开展“无废城市”和“无废社区”试点，总结经验，加速推广，开展综合环境能源服务。发挥绿色标准标识引领作用，分类、分级、分阶段渐进升级，推广最佳消费实践，注重绿色消费时尚推介和教育。对能源、资源的高效、梯级、再生、循环利用作出制度性、激励性规定，提高其综合利用效率，例如，塑料制品消费的押金制、再生塑料占比指标等。科学考虑绿色成本和获益的分担，促进企业承担包括自然获益分担在内的社会责任，合理分配消费者的绿色负担。推进数字智能技术在绿色消费方面的创新应用。

3.6 构建面向碳中和的技术创新体系与动态升级路线图

*积极规划、催化双碳技术创新与迭代。*加强顶层设计，充分发挥新型举国体制优势，跨领域系统化布局低碳、零碳、负碳技术的创新体系，积极开展科学评估、技术创新政策与决策咨询，特别是加强对不同技术迭代和技术路线的综合比较评估，制定分类分领域技术发展路线图及动态调整机制[4]。加强基础研究，加快突破多能融合及高能耗工业流程再造关键核心技术，超前布局、推动关键共性技术、前沿引领性技术和颠覆性技术的研发创新和商业化推广。加快新能源技术开发，包括新型储能、新一代先进核能、碳捕集与利用技术等。推动数字智能与绿色低碳技术的整合应用，全面大幅提升能源利用效率，通过碳中和愿景的引领逐步在数字经济、清洁能源、智慧城市等发展

潜力大、带动性强的高科技低碳领域培育新发展动能。重视面向碳中和的技术标准体系建设，兼顾减碳、质量和产品生命周期等要求。

3.7 建立支撑低碳转型和创新的绿色金融体系

*强化绿色气候金融体系的基础能力、基础制度、基础标准建设，推动绿色金融有序、分步发展。*根据国情、发展阶段及接轨国际规则，探索制定我国的气候信息披露机制、数据信息系统、绿色金融分类标准体系、长期碳定价机制等。利用综合“定价”手段，包括税收、价格、补偿、采购及其他激励手段，塑造多元化绿色气候投融资机制。采取渐进的绿色低碳投融资模式，既要明确宏观政策，释放长期信号，又要建立微观机制以实现精细管理。探索发展转型金融，推动建立绿色转型发展基金，促进公正转型。建立和完善环境、社会责任、公司治理管理机制，明确投资导向，降低交易成本。同时加强监管，防范“漂绿”，合理规避绿色债务风险，避免资本搁浅问题。

3.8 构建可持续贸易模式与绿色供应链

*推动构建可持续的贸易、投资与国际合作体系。*根据低碳发展需要调整贸易政策，减少资源能源密集产品的出口。探索全球化重塑和双循环模式下的可持续贸易模式，构建大宗软性商品的绿色价值链，推广非毁林产品智能认证与全链条可追溯性。关注海洋、塑料、食物、生物多样性保护、新型污染物等国际热点议题，以及这些议题与贸易之间的相互作用。

*打造安全、韧性、可持续的新能源供应链。*立足新能源产业发展实际，前瞻考虑关键矿物、材料和组件等全球新能源供应链、产业链的优化布局。保障可再生能源供应链上的关键矿物原材料，如锂、钴、铜、镍及稀土金属等的供应安全，并同步开发替代技术。开展关键可再生能源技术国际合作，围绕“一带一路”发展产业链、供应链合作伙伴圈，积极应对美国、欧洲本土清洁能源制造、供应链竞争。

3.9 构建促进“双碳”目标落实的良性治理体系

*形成促进“双碳”系统变革的法律法规体系，统筹制订、修订相关法律法规。*进一步完善能耗双控制度，加快推动碳排放总量和强度“双控”制度的试点，为尽快实现制度转变提供实践基础。完善“双碳”管理体制机制，优化部门间管理协调机制，注重地方“双碳”能力建设，促进地方和行业主体在低碳转型路径认识、执行方式等方面的共识。形成有效且适应的规划、政策与保障体系。制定中长期的转型战略规划。注重信息披露、数据平台及其测量、报告、核查体系建设，过程中不断提升透明度。完善碳市场运行机制，建立碳市场、绿证交易、电力市场的协调机制，探索碳税等财税政策的可行性，优化简化各类监管程序、有效降低制度成本与合规监管成本。建立面向碳中和的高质量、全生命周期低碳标准、标识及标杆体系，发挥标准引领作用。

3.10 推动构建公平合理、合作共赢的全球气候治理体系

*统筹国际国内政策，开展全方位气候合作，在落实《巴黎协定》框架下促进全球绿色转型与碳中和进程。*推动中国、美国、欧洲绿色产业和科技的务实合作。减缓地缘政治的影响，推动大国间健康公平的良性竞争与务实合作，是适应目前国际局势的更优策略，积极探索技术、人才、政策等领域多方面国际合作机会。我国在新能源等领域上有制造优势，与发达国家在核心技术、商业模式等方面存在优势互补。就关税政策、绿色标准协调等方面开展积极妥善地对话与磋商，通过健康公平的市场环境与规则，开展公平合理、互动双赢的有效合作。

*锚定我国在新能源等相关领域的优势，构建多样化平台和桥梁，积极开展针对南方国家的气候合作。*发挥可再生能源、电动汽车等新能源产业方面的制造生产优势，积极建立与发展中国家的清洁能源转型合作伙伴关系，同时积极与发达经济体在“一带一路”

共建国家开展第三方市场合作。加强产业链、供应链合作，保障区域和全球新能源供应链稳定和韧性。增进对话与合作交流，积极分享我国应对气候变化的最佳实践。同时，改善国际气候传播技巧和叙事方式，讲好气候变化的“中国故事”，以多种形式向国际社会提供技术、资金、知识、能力及相关公共产品。

4 结语

我国的发展成绩有目共睹，在历史的十字路口，我国面临前所未有的挑战和国内外新发展环境，没有成熟的碳中和经验和固定模式可以照搬。相比发达经济体，我国实现“双碳”目标时间更紧、任务异常艰巨，需要经济结构、技术创新、资金投入、能力提升、消费方式的深刻转变。走中国特色的绿色低碳转型发展之路是一个不断继承、实践、学习、提升、完善的过程，这要求在实践中不断调整相关政策、路径，既要做好顶层设计，也要“摸着石头过河”。

我国的生态文明建设和绿色转型发展需要在新的框架下采取面向未来的稳健发展战略、综合解决方案与配套措施。不仅需要政府自上而下的管理与引领，也需要其他利益相关方自下而上地探索与参与，共同摸索不同时期的最佳路径，逐步构建以促进结构性创新、环境质量持续改善和全面绿色低碳转型为核心的制度体系和治理体系。

新形势下，走中国特色绿色转型发展道路不仅针对自身发展，而且要争取引领全球绿色变革，以全球目光重塑绿色产业链、供应链、价值链，积极构建绿色伙伴关系，为全球可持续发展进程与实现全球碳中和目标作出贡献。特别是携手其他发展中经济体，分享我国绿色低碳转型的最佳实践，开展广泛的合作，展现大国担当与责任。

参考文献

1 王毅, 顾佰和. 中国可持续发展新进程:探索迈向碳中和之路. 可持续发展经济导刊, 2021, (Z2): 15-20.
Wang Y, Gu B H. China’s new process of sustainable development: Exploring the path to carbon neutrality. China Sustainability Tribune, 2021, (Z2): 15-20. (in Chinese)

2 中国科学院可持续发展战略研究组. 2020中国可持续发展报告:探索迈向碳中和之路. 北京: 科学出版社, 2021.
Sustainable Development Strategy Research Group, Chinese Academy of Sciences. China Sustainable Development Report 2020: Exploring Pathways towards Carbon Neutrality. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)

3 中华人民共和国生态环境部. 中国应对气候变化的政策与行动2022年度报告. (2022-11-01) [2023-12-01]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/syqhbh/202210/W020221027551216559294.pdf.
Ministry of Ecology and Environment of the People’s Republic of China. 2022 annual report on China’s policies and actions of respond to climate change. (2022-11-01)[2023-12-01]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/syqhbh/202210/W020221027551216559294.pdf. (in Chinese)

4 清华大学气候变化与可持续发展研究院. 中国长期低碳发展战略与转型路径研究:综合报告. 北京: 中国环境出版社, 2021.
Institute of Climate Change and Sustainable Development. China’s Long-term Low-carbon Development Strategies and Pathways Comprehensive Report. Beijing: China Environmental Science Press, 2021. (in Chinese)

5 何京东, 曹大泉, 段晓男, 等. 发挥国家战略科技力量作用，为“双碳”目标提供有力科技支撑. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 415-422.
He J D, Cao D Q, Duan X N, et al. Give full play to national strategic S&T force to provide vigorous support for carbon peak and carbon neutrality goals. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(4): 415-422. (in Chinese)

6 刘晓龙, 崔磊磊, 李彬, 等. 碳中和目标下中国能源高质量发展路径研究. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(3): 1-8.
Liu X L, Cui L L, Li B, et al. Research on the high-quality development path of China’s energy industry under the target of carbon neutralization. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2021, 23(3): 1-8. (in

Chinese)

7 王毅, 张蒙, 李海东, 等. 推进应对气候变化与保护生物多样性协同治理. 环境与可持续发展, 2021, 46(6): 19-25.
Wang Y, Zhang M, Li H D, et al. Promoting the co-governance to cope with climate change and biodiversity conservation. Environment and Sustainable Development, 2021, 46(6): 19-25. (in Chinese)

8 江亿, 胡姗. 中国建筑部门实现碳中和的路径. 暖通空调, 2021, 51(5): 1-13.
Jiang Y, Hu S. Paths to carbon neutrality in China's building sector. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2021, 51(5): 1-13. (in Chinese)

Insights on further deepening carbon peaking and carbon neutrality strategy and pathways

GU Baihe[1,2] YU Donghui[1,2] WANG Chen[3] WANG Yi[1,2*]

(1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Sino-Danish College, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The low carbon transition pathway is a series of goals, technologies, fundings, policies, and other integrated driven system action roadmap. With the deepening of society's understanding of carbon peaking and carbon neutrality, China's dual-carbon faces the challenge of systemic advancement of comprehensive deepening implementation. The 20th National Congress of the Communist Party of China once again emphasized that achieving the dual-carbon goal will bring about extensive and profound economic and social systemic changes, and pointed out that based on China's energy endowment, we should adhere to first establishment and then phase-out and implement the carbon peaking actions in a planned and step-by-step manner. China's low-carbon transition has made a series of new progress, and the planning for carbon peaking and carbon neutrality "1+*N*" policy framework, which aims to implement the tasks of the dual-carbon target in a comprehensive manner, has been basically completed. At the same time, it is necessary to recognize the long-term and arduous nature of carbon peaking and carbon neutrality, for which the pathway and policies need to be constantly and dynamically adjusted according to the domestic and international situation. The study summarizes the new achievements of low-carbon transition under the guidance of the carbon peaking and carbon neutrality target and the "1+*N*" policy framework, and analyzes the transition needs and challenges faced. Finally, it puts forward several suggestions for systematically promoting the deepening implementation of the dual-carbon strategy in terms of economic system, energy system, territorial spatial pattern, building and transportation system, consumption pattern, technological innovation, financial system, trade and supply chain, governance system, and international cooperation.

Keywords carbon peaking, carbon neutrality, low carbon transition, ecological civilization, green development

*Corresponding author

顾佰和 中国科学院科技战略咨询研究院副研究员，中国科学院青年创新促进会会员。主要从事能源低碳转型战略与路径、碳排放管理与政策评价、全球气候治理等方面的研究。E-mail: gubaihe@casisd.cn

GU Baihe Associate Professor at the Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences(CAS), Member of the Council of Youth Innovation Promotion Association of CAS (YIPA-CAS). He mainly engages in research on energy low-carbon transition strategy and pathway, carbon emission management and policy evaluation, and global climate governance.
E-mail: gubaihe@casisd.cn

王 毅 中国科学院科技战略咨询研究院碳中和战略研究中心主任，研究员，中国科学院大学公共政策与管理学院教授，国家气候变化专家委员会副主任。主要从事可持续发展领域的公共政策与发展战略研究，包括生态文明制度、绿色转型发展战略、能源与气候变化政策、流域综合管理等。E-mail: wangyi@casisd.cn

WANG Yi Professor at the Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Dean and Professor of School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences (UCAS)School of Public Policy and Management, Team Leader and Chief Scientist of the annual China Sustainable Development Report (CSDR); Vice Chair of the National Expert Panel on Climate Change. He mainly engages in public policy and development strategy research in the field of sustainable development, including ecological civilization system, green transition development strategy, energy and climate change policy, integrated river basin management, etc. E-mail: wangyi@casisd.cn

■责任编辑：张帆